

Sintesis Lapis Tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$ sebagai Material Fotokatalis Pendegradasi Pewarna Tekstil (*Synthesis Thin Layer $Zn_{1-x}Ni_xO$ as Material Photocatalyst Degrading Textile Dyes*)

Tanti Haryati, Novita Andarini, Achmad Zainur Roziqin
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: tanti@unej.ac.id

Abstrak

Limbah cair zat warna dapat didegradasi dengan menggunakan teknik fotodegradasi katalitik menggunakan material semikonduktor dengan bantuan paparan sinar ultraviolet (UV). Salah satu material semikonduktor yang digunakan untuk proses pendegradasian adalah zink oksida (ZnO). Metode sintesis lapis tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$ adalah sistem deposisi larutan. Pengaruh dari variasi jumlah penambahan ion dopan Ni^{2+} pada sintesis lapis tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$ terhadap struktur dan komposisi dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Kinerja dari lapis tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$ sebagai fotokatalitik dipelajari melalui % degradasi limbah zat cair dalam hal ini menggunakan Procion Red MX8-B. Berdasarkan hasil karakterisasi diperoleh hasil semakin tinggi persentase ion dopan Ni^{2+} maka semakin tinggi kristanilitas dan semakin kecil ukuran kristal dari lapis tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$. Begitu pula pada aktivitas fotokatalisnya semakin tinggi persentase ion dopan Ni^{2+} maka semakin tinggi pula persen degradasinya. Aktivitas fotokatalis optimum didapatkan pada lapis tipis dengan komposisi 5% Ni yaitu sebesar 34.5%.

Kata Kunci: Lapis tipis $Zn_{1-x}Ni_xO$, fotodegradasi katalitik, limbah cair zat warna.

Abstract

Liquid wastes of dyes can be degraded using catalytic photodegradation techniques using semiconductor material with the help of ultraviolet (UV) exposure. One of the semiconductor materials used for the degradation process is zinc oxide (ZnO). The method of synthesis of thin layer $Zn_{1-x}Ni_xO$ is a solution deposition system. The effect of variations in the amount of nickel ion addition on the synthesis of $Zn_{1-x}Ni_xO$ thin layer on the structure and composition was characterized using *X-Ray Diffraction* (XRD) and *X-Ray Fluorescence* (XRF). The performance of the $Zn_{1-x}Ni_xO$ thin layer as photocatalytic was studied through % degradation of liquid waste in this case using Procion Red MX8-B. Based on the results of the characterization, the higher the percentage of Ni^{2+} dopant ions, the higher the crystallinity and the smaller the crystal size of the $Zn_{1-x}Ni_xO$ thin layer. Likewise in the photocatalyst activity the higher the percentage of Ni^{2+} dopant ions, the higher the degradation percentage. The optimum photocatalyst activity was obtained in thin layers with a composition of 5% Ni which was equal to 34.5%.

Keywords: $Zn_{1-x}Ni_xO$ thin films, catalytic photodegradation, liquid wastes of dyes.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil yang kini sangat pesat diiringi dengan semakin banyaknya limbah cair zat warna yang dilepaskan ke lingkungan dimana limbah tersebut tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme sehingga berbahaya bagi lingkungan. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menanggulangi limbah cair zat warna tersebut yaitu dengan metode fotodegradasi katalitik, metode ini menggunakan material semikonduktor dengan bantuan paparan sinar ultraviolet (UV) (Gunlazuardi, 2001). Material semikonduktor yang sering digunakan dan sudah dikenal luas yaitu TiO_2 (Titanium Dioksida). TiO_2 merupakan semikonduktor dengan *gap* energi yang lebar (3,2 eV) dan aktif pada rentang cahaya UV (Linsebigler, et al., 1995). Material lain yang juga memiliki *band gap* yang hampir mirip yaitu Zink oksida (ZnO). ZnO adalah salah satu material semikonduktor untuk solar sel yang memiliki energi *band gap* yang besar (3,37 eV). ZnO juga digunakan sebagai material fotokatalis karena *band gap*nya juga sesuai untuk panjang gelombang sinar UV (Haryanti, et al. 2005).

ZnO dengan tambahan *doping* berupa ion logam dengan tujuan agar dapat meningkatkan kinerja fotokatalis

tersebut. Pada penelitian ini logam yang digunakan adalah Ni^{2+} berdasarkan ukuran dari ion Ni^{2+} dan Zn^{2+} hampir sama yaitu masing-masing 0,69 Å dan 0,74 Å (Hu, et al., 2012). Fotokatalis ZnO dengan ion dopan logam Ni^{2+} telah banyak diteliti, salah satunya yaitu kombinasi Ni^{2+}/ZnO dilakukan oleh Zhao, et. al (2011) yaitu sintesis $Zn_{1-x}Ni_xO$ berbentuk *nanorod* (batang nano) dengan menggunakan metode hidrotermal sederhana. Aktivitas fotokatalis dari $Zn_{1-x}Ni_xO$ didapatkan dengan mempelajari laju penguraian rhodamin B pada paparan radiasi sinar UV. Dari beberapa komposisi dopan Ni yang digunakan (0, 2, 5, 10%), didapatkan bahwa $Zn_{0,95}Ni_{0,05}O$ adalah fotokatalis yang memiliki aktivitas terbesar.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode deposisi kimia, suatu metode sintesis lapis tipis dalam sistem larutan pada suasana basa pada suhu rendah (90°C) dan sistem tertutup. Metode ini dipilih karena prosesnya yang relatif lebih sederhana dan membutuhkan waktu yang lebih singkat. Pengaruh dari variasi banyaknya penambahan ion dopan nikel terhadap struktur dan komposisi dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *X-Ray Fluorescence* (X-RF). Kinerja dari lapis

tipis Zn_(1-x)Ni_xO sebagai fotokatalitik dipelajari melalui % degradasi limbah zat cair dalam hal ini menggunakan Procion Red MX8-B yang ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan yaitu Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas: Zn(NO₃)₂.6H₂O(Sigma-Aldrich), NiCl₂.6H₂O(Merck), metenamin/C₆H₁₂N₄(Sigma-Aldrich), Aquades dan Procion red MX-8B.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ialah gelas kimia, pipet mohr 10 ml, labu ukur 50 mL, spatula, pipet tetes, oven, botol gelas, spektrofotometer UV/Vis Shinhwa, X-ray Diffraction (X-RD) PANalytical X'pert, X-ray Fluorescence (X-RF) Bruker S2 Ranger, lampu UV Philips 40 Watt, kaca preparat, botol semprot dan ball pipet.

Sintesis Lapis Tipis Zn_{1-x}Ni_xO

NiCl₂.6H₂O dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL kemudian ditambah dengan Zn(NO₃)₂.6H₂O dan ditambah dengan metenamin, kemudian ditambah dengan aquades sampai tanda batas. Jumlah penambahan NiCl₂.6H₂O, Zn(NO₃)₂.6H₂O dan metenamin dengan variasi penambahan persen ion dopan Ni ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi penambahan doping Ni

% Ni ²⁺	NiCl ₂ .6H ₂ O	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Metenamin
0%	0	2,977 g	1,408 g
1%	0,025 g	2,956 g	1,407 g
3%	0,076 g	2,884 g	1,396 g
5%	0,118 g	2,828 g	1,403 g
7%	0,163 g	2,765 g	1,411 g

Lapis tipis Zn_{1-x}Ni_xO disintesis dengan metode deposisi kimia dengan menggunakan precursor Zn(NO₃)₂.6H₂O dalam suasana basa (basa menggunakan metenamin) dan didoping dengan NiCl₂.6H₂O. selanjutnya larutan dimasukkan ke dalam botol kaca yang sebelumnya telah diletakkan kaca preparat didalamnya. Bptpl kaca yang telah ditutup rapat kemudian dipanaskan dalam oven selama 6 jam pada suhu 90°C. setelah pemanasan selesai, maka bagian dalam botol kaca dibilas perlahan dengan aquades untuk menghilangkan residu garam. Selanjutnya kaca preparat diambil dari botol kaca untuk prospe selanjutnya.

Karakterisasi Lapis Tipis Zn_{1-x}Ni_xO

Kaca preparat yang berisi lapis tipis Zn_{1-x}Ni_xO yang telah disintesis selanjutnya dianalisis menggunakan dua karakterisasi yaitu pengukuran difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur dan kristanilitas senyawa yang dihasilkan dan pengukuran sinar-X Fluoresence (XRF) untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terdapat pada sampel.

Uji Aktivitas Fotokatalis Zn_{1-x}Ni_xO

Larutan pewarna procion red MX-8B disiapkan untuk ditentukan panjang gelombang serapan maksimumnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang cahaya tampak (400-600 nm) dan dibuat

spectra absorpsinya. Kurva kalibrasi dibuat dengan serangkaian konsentrasi larutan, yaitu: 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm.

Pewarna procion red MX-8B yang telah diketahui serapan maksimumnya disiapkan dengan konsentrasi 50 ppm. Dimasukkan pada botol kaca yang telah dilapisi dengan semikonduktor Zn_{1-x}Ni_xO dan dilakukan penyinaran dengan lampu UV selama 24 jam. Kemudian, larutan pewarna diukur kembali absorbansinya pada λ maksimum. Penentuan aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi zat warna dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{m_0 - m_1}{L \times t}$$

Dimana :

- A = aktivitas fotokatalis
- m₀ = massa awal
- m₁ = massa akhir
- L = luas permukaan katalis
- t = waktu

Penentuan persentase kemampuan fotokatalis lapis tipis ZnO dalam mendegradasi zat warna dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$D = \frac{c_o - c_t}{c_o} \times 100$$

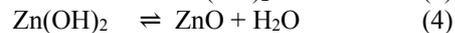
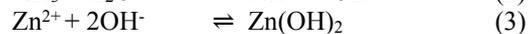
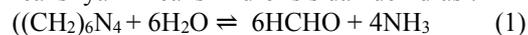
Dimana:

- c_t = konsentrasi larutan setelah didegradasi selama 24 jam (ppm) dan
- c_o = konsentrasi awal larutan (ppm)
- D = degradasi

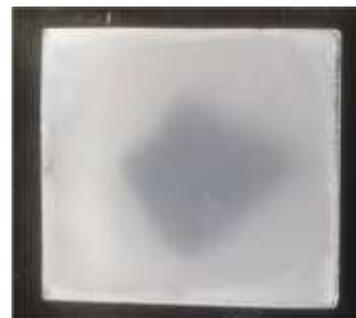
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Lapis Tipis ZnO dan Zn_{1-x}Ni_xO

Sintesis lapis tipis ZnO dan Zn_{1-x}Ni_xO (Kristal ZnO yang disisipi ion dopan Ni²⁺) dilakukan dengan menggunakan prekursor Zn(NO₃)₂.6H₂O dan direaksikan dengan basa lemah berupa metenamin ((CH₂)₆N₄) yang berfungsi sebagai penghasil ion OH⁻ pada suhu 90°C dengan pelarut aquades. Pembentukan Kristal ZnO dalam larutan prekursor tersebut berlangsung dalam dua tahap reaksi yakni reaksi hidrolisis dan dehidrasi:



(Haryati, et. al., 2014).

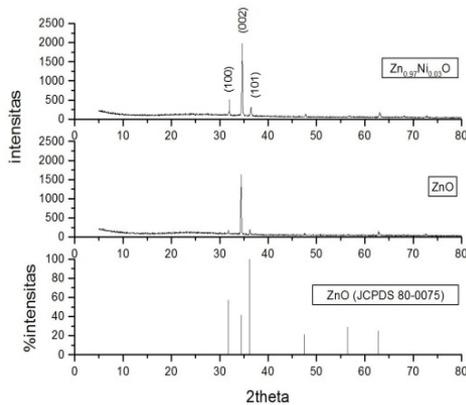


Gambar 1. Lapis tipis ZnO

Gambar 1. Merupakan lapisan tipis ZnO yang telah berhasil disintesis dimana pada permukaan dari kaca preparat tersebut telah terlapisi Kristal ZnO. Secara fisik lapisan tipis ZnO yang dihasilkan tidak jauh berbeda antara lapisan tipis ZnO *undoped* maupun lapisan tipis ZnO yang *didoping* ion Ni²⁺. Hal ini dikarenakan jumlah dari ion Ni²⁺ yang menyusup menggantikan ion Zn²⁺ sangatlah sedikit. Ion Ni²⁺ dapat menempati posisi normal dari ion Zn²⁺ karena ukuran dari ion Ni²⁺ (0,69 Å) sedikit lebih kecil daripada ukuran ion Zn²⁺ (0,74 Å). Sehingga rumus senyawa yang diperoleh dengan proses pendopingan adalah Zn_{1-x}Ni_xO yang merupakan senyawa nonstokiometrik dan massa jenisnya lebih rendah daripada massa jenis kristal ZnO murni. Cacat Kristal ini tergolong dalam cacat nonstokiometrik yaitu cacat akibat adanya pengotor, dimana Ni²⁺ yang berperan sebagai pengotornya (Efendy, 2004).

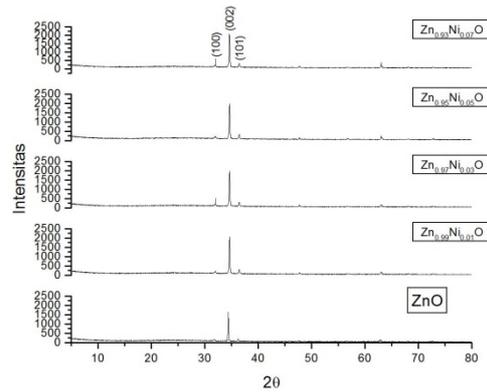
Pengaruh Konsentrasi Ion Dopan Ni²⁺ terhadap hasil X-ray Diffraction (XRD)

Data yang diperoleh dari analisa difraksi sinar-X yaitu pola difraksi berdasarkan plot intensitas puncak yang menyatakan per parameter kisi Kristal atau indeks miller (hkl) sebagai fungsi 2θ dimana θ menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg (Richardson, 1989). Hasil karakterisasi menggunakan metode difraksi sinar-X menunjukkan bahwa dalam proses ini lapisan tipis ZnO telah berhasil disintesis. Puncak difraksi lapisan tipis ZnO dibandingkan dengan pola difraksi standar ZnO (*Zink Oxide*, JCPDS 80-0075) yang terdapat pada data *Powder Diffraction File* (PDF) dan diperoleh pola sebagai berikut:



Gambar 2. Pola difraksi lapisan tipis ZnO dan Zn_{1-x}Ni_xO

Gambar 2 diatas menunjukkan bahwa difraktogram yang dihasilkan memiliki puncak yang mirip dan sesuai dengan puncak untuk Kristal ZnO pada JCPDS 80-0075. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah *wurtzite*. Selain itu informasi yang didapat juga mengenai kenaikan intensitas seiring dengan meningkatnya penambahan konsentrasi ion *dopan* yaitu sebesar 1631, 2066, 2070, 2077 dan 2089 masing-masing untuk sampel ZnO, Zn_{0,99}Ni_{0,01}O, Zn_{0,97}Ni_{0,03}O, Zn_{0,95}Ni_{0,05}O dan Zn_{0,93}Ni_{0,07}O.



Gambar 3. Pola difraksi lapisan ZnO dengan variasi jumlah ion dopan Ni²⁺

Berdasarkan pola difraksi yang ditunjukkan pada Gambar 3 tidak ditemukan adanya puncak dari fasa nikel, bahkan pada konsentrasi tertinggi sekalipun yaitu pada konsentrasi Ni 7%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ambiga, et.al., (2016) yang menunjukkan bahwa konsentrasi ion Ni²⁺ yang ditambahkan sebagai ion *doping* sangat sedikit sehingga tidak dapat terdeteksi oleh XRD, selain itu penambahan ion doping Ni²⁺ tidak berpengaruh terhadap bentuk kristal *wurtzite* dari ZnO.

Pola difraksi yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung ukuran kristal yang terbentuk dengan menggunakan persamaan *debye-scherrer* yaitu $D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$. adapun hasil dari perhitungan ukuran ZnO dan Zn_{1-x}Ni_xO dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2 Data ukuran kristal (d) Zn_{1-x}Ni_xO variasi konsentrasi ion *doping* Ni²⁺

Sampel	2θ	Intensitas	FWHM	d(nm)
ZnO	34,6564	1631	0,2856	58,309
Zn _{0,99} Ni _{0,01} O	34,6564	2066	0,3056	54,370
Zn _{0,97} Ni _{0,03} O	34,6394	2070	0,3124	53,176
Zn _{0,95} Ni _{0,05} O	34,6734	2077	0,3164	52,559
Zn _{0,93} Ni _{0,07} O	34,6224	2089	0,3195	52,035

Hasil dari perhitungan ukuran ditunjukkan pada tabel 2 terjadi penurunan ukuran kristal seiring dengan penambahan ion *doping* Ni²⁺ yang diberikan. Ion-ion Ni²⁺ mengganti posisi ion-ion Zn²⁺ pada kisi kristal ZnO sebagai pengotor namun tidak merubah struktur kristal *wurtzite* ZnO, yang mana dibuktikan dengan tidak adanya puncak dari Kristal NiO.

Pengaruh Konsentrasi Ion Dopan Ni²⁺ Terhadap Hasil X-Ray Fluorescence (XRF)

Selain analisis menggunakan XRD, pada penelitian ini juga dilakukan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui ada atau tidaknya kandungan logam nikel pada

sampel yang telah disintesis sebelumnya. Adapun hasil dari analisis XRF dapat dilihat pada Tabel 3.

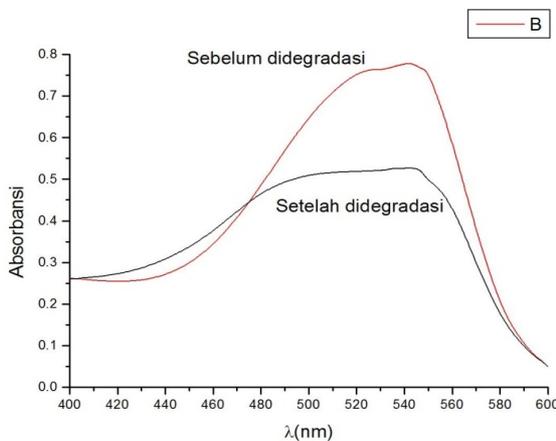
Tabel 3. Hasil analisa XRF lapis tipis ZnO dengan variasi jumlah ion *dopan* Ni^{2+}

Persenta se ion <i>dopan</i> Ni^{2+}	Persentase oksida (%)			Persentase logam (%)		
	ZnO	NiO	MgO	Zn	Ni	Mg
1%	85,47	0,17	4,57	68,67	0,13	2,76
3%	92,58	0,20	2,09	74,38	0,15	1,26
5%	91,20	0,23	2,55	73,27	0,18	1,54
7%	52,67	0,29	17,04	42,32	0,23	7,85

Berdasarkan tabel 3 diatas dapat diketahui bahwa ion Ni^{2+} telah berhasil *didoping* pada struktur lapis tipis ZnO. Semakin besar konsentrasi ion Ni^{2+} (dalam bentuk serbuk $NiCl_2 \cdot 6H_2O$) yang ditambahkan pada proses sintesis ZnO maka semakin besar pula persentase nikel yang terdoping pada lapis tipis yang dihasilkan. Adanya logam lain yang tereteaksi selain logam Ni ini dikarenakan pelarut yang digunakan berupa aquades sehingga dimungkinkan masih terdapat mineral-mineral lain didalamnya misalnya Mg.

Pengaruh Konsentrasi Ion *Dopan* Ni^{2+} Terhadap Aktivitas Fotokatalis ZnO

Uji aktivitas fotokatalis ZnO dan $Zn_{1-x}Ni_xO$ pada penelitian ini dilakukan setelah diperoleh data hasil karakterisasi XRD dan XRF kristal $Zn_{1-x}Ni_xO$. sampel pewarna yang digunakan yaitu pewarna tekstil *procion red MX-8B*, pewarna tekstil ini merupakan jenis zat warna azo dengan struktur yang kompleks (Kusumaningsih, et.al., 2012). Nilai absorbansi maksimum dari pewarna *procion red MX-8B* yaitu pada daerah panjang gelombang 542 nm dengan persamaan regresi $y = 0,0156x + 0,0083$ dan nilai $R = 0,9993$, persamaan ini digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel. Untuk memastikan terjadinya reaksi degradasi pada larutan zat warna yang sama, maka dilakukan *scan* panjang gelombang pada 50ppm larutan pewarna sebelum dan sesudah didegradasi pada rentang panjang gelombang 400-600 nm. Fotokatalis yang digunakan pada *scan* panjang gelombang adalah fotokatalis dengan komposisi doping nikel 5% ($Zn_{0,95}Ni_{0,05}O$). grafik *scanning* panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Scanning panjang gelombang sebelum dan sesudah didegradasi

Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa pola serapan dari kedua proses *scanning* yang dilakukan memiliki kemiripan, namun berbeda pada absorbansi λ_{max} yaitu dari 0,779 (sebelum didegradasi) menjadi 0,527 (setelah degradasi).

Pengaruh penambahan ion *dopan* terhadap kinerja fotokatalitik ZnO dalam menguraikan zat warna *procion red MX-8B* dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 542 nm. Pengukuran nilai absorbansi dari larutan pewarna dilakukan sebelum dan sesudah didegradasi oleh lapis tipis ZnO yang disintesis dengan variasi konsentrasi ion *dopan* Ni^{2+} selama 24 jam dalam paparan cahaya UV. Hasil dari pengukuran absorbansi larutan sebelum dan sesudah didegradasi dapat digunakan untuk menentukan persentase degradasi yang menunjukkan kinerja dari fotokatalis tersebut.

Tabel 4. Aktivitas fotokatalis dengan variasi *doping* ion Ni^{2+}

Lapis Tipis	Sebelum degradasi	Setelah degradasi	% Degradasi
	C _{rata-rata}	C _{rata-rata}	
ZnO	49,4 ppm	46,1 ppm	6,7
ZnNiO 1%	49,3 ppm	38,2 ppm	22,5
ZnNiO 3%	49,4 ppm	37,7 ppm	23,7
ZnNiO 5%	49,4 ppm	33,1 ppm	32,9
ZnNiO 7%	49,4 ppm	32,3 ppm	34,5

Berdasarkan data tabel 4 dapat diketahui bahwa aktivitas fotokatalis lapis tipis ZnO dengan adanya *dopan* ion Ni^{2+} lebih tinggi daripada tanpa adanya *dopan*. Aktivitas fotokatalis semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion *dopan*. Persentase aktivitas fotokatalis tertinggi didapatkan sebesar 34,5% dengan persentase ion *doping* Ni^{2+} sebesar 7%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lapis tipis ZnO dengan tambahan ion *doping* 7% Ni^{2+} merupakan yang terbaik jika dibandingkan dengan sampel fotokatalis lain yang telah disintesis dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Ion Ni^{2+} telah berhasil *didoping* pada kristal ZnO dengan kisaran persentase 0,13 – 0,23%. Difraktogram lapis tipis ZnO *doping* ion Ni^{2+} memiliki posisi puncak (2θ) yang mirip dengan ZnO tanpa *doping*. Semakin banyak ion *dopan* Ni^{2+} yang digunakan maka semakin tinggi intensitas puncak-puncak tersebut dan diiringi dengan penurunan ukuran kristal ZnO. Begitu pula pada aktivitas fotokatalis dari ZnO, semakin banyak ion *dopan* Ni^{2+} yang ditambahkan maka semakin tinggi pula persentase aktivitas fotokatalis lapis tipis yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gunlazuardi, J. 2001. Fotokatalisis pada permukaan TiO_2 Aspek fundamental dan aplikasinya. *Seminar Nasional Kimia Fisika II*. Jakarta: Jurusan Kimia-FMIPA Universitas Indonesia.

[2] Haryati, T., Prijamboedi, B., Mulyono, T., Mintadi, M., Pradista, Y.A. 2014. Synthesis and

- Characterization Core-shell ZnO/TiO₂ as Photoanode Material in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Proceeding International Seminar on Science and Technology University of Jember*, 23 Oktober 2014, hlm. 119-123.
- [3] Hu, D., Liu, Y.J., Li, H.S., Cai, X.Y., Yan, X.L., & Wang, Y.D. 2012. Effect of Nickel Doping on Structural, Morphological and Optical Properties of Sol-gel Spin Coated ZnO Films. *Materials Technology*. 2012, Vol 27 (23): 243 – 250.
- [4] Kusumaningsih T., Handayani, D.S., Lestari, Y. 2012. *Pembuatan Mikrokapsul Kitosan Gel Tersambung Silang Etilen Glikol Diglisidil Eter (Psf – Egde – Cts) sebagai Adsorben Zat Warna Procion Red Mx 8b*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. Vol 8 (1): 47-56.
- [5] Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates. J. T. 1995. "Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanism, and Selected Result". *Chem. Rev.* Vol. 95 (3): 735-758.
- [6] Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- [7] Zhao, J., Wang, L., Yan, X., Yang, Y., Lei, Y., Zhou, J., Huang, Y., Gu, Y., & Zhang, Y. 2011. Structure and Photocatalytic Activity of Ni-doped ZnO Nanorods. *Materials Resesarch Bulletin*. Vol 46 : 1207-1210.